

鼎湖山地表无脊椎动物多样性及其与凋落物的关系

徐国良, 黄忠良¹, 欧阳学军, 方运霆, 彭闪江

(中国科学院华南植物研究所 鼎湖山树木园, 广东 肇庆 526070)

摘要: 为了解鼎湖山国家级自然保护区 3 种代表林型地表无脊椎动物的多样性及其与凋落物的关系, 利用巴氏罐诱法共采集无脊椎动物 3 门 7 纲 31 目 58 科 (总科) 7 310 头。3 种林型中蚂蚁占绝对优势, 蜘蛛、甲螨、长角跳虫、毛罩甲、蟋蟀和果蝇为常见类群。其中季风常绿阔叶林地表无脊椎动物的多样性和均匀性指数最高; 针阔叶混交林与之接近; 马尾松林最低, 但其优势度指数最高。3 种林型地表无脊椎动物群落之间均中等不相似。年凋落物量与地表无脊椎动物的多样性、均匀性呈现显著正相关, 与优势度呈显著负相关; 凋落物的周转期与地表无脊椎动物的多样性与均匀性呈显著负相关, 与优势度呈显著正相关。

关键词: 鼎湖山; 地表; 无脊椎动物; 多样性; 凋落物

中图分类号: Q958.15 **文献标识码:** A **文章编号:** 0254 - 5853(2002)06 - 0477 - 06

Diversity of Aboveground Invertebrates in Dinghushan and Its Correlation with Litter

XU Guo-liang, HUANG Zhong-liang¹, OUYAN Xue-jun,
FANG Yun-ting, PENG Shan-jiang

(Dinghushan Arboretum, South China Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Zhaoqing 526070, China)

Abstract: The diversity of aboveground invertebrate communities and its correlation with litter were studied using pit-fall traps in three representative forests in Dinghushan National Nature. 7 310 invertebrate samples were collected, which belonged to 3 phyla, 7 classes, 31 orders, and 58 families (superfamilies). Formicidae was dominant, and Araneae, Oribatida, Entomobryidae, Biphylidae, Gryllidae and Prosophilidae were common. The aboveground invertebrate in monsoon evergreen broad-leaf forest had the highest values of diversity (H') and evenness (E), which were similar to the values in broad-leaf and pine mixed forest and there were the lowest values in pine forest, but the value of dominance was the highest in pine forest. There was not significant similarity among the three aboveground invertebrate communities. The annual litter production was significant positive correlation with the diversity and evenness of aboveground invertebrates and significant negative correlation with the dominance. There were significant negative correlation between return period of litter and the diversity and evenness of aboveground invertebrates. Significant positive correlation showed between return period of litter and the dominance.

Key words: Dinghushan; Aboveground; Invertebrate; Diversity; Litter

森林凋落物是森林生态系统物质和能量循环的重要环节, 是森林生态学、土壤学、水文学和生物地球化学的重要研究内容之一 (吴承祯, 2000), 因此它的生态过程也成为重要的生态学问题。凋落物从形成到完全矿化是在众多无脊椎动物和微生物的共同作用下完成的。地表无脊椎动物指主要

在地表面活动的无脊椎动物群落, 其中包括地表栖土壤动物及一些不属于土壤动物研究范畴的类群, 它们都直接或间接地以凋落物为食, 主要起着碎裂和研细凋落物的作用。地表无脊椎动物大多生物量大、活动性强, 对凋落物的分解能力亦强, 尤其在凋落物的初期分解中作用极大 (张雪萍等, 2001)。

收稿日期: 2002 - 05 - 15; 接受日期: 2002 - 06 - 28

基金项目: 鼎湖山自然保护区科研基金资助项目

1. 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: Huangzl@scib.ac.cn

尽管已对一些地表栖大型土壤动物及其在凋落物分解中的作用 (Bouche & Strategies, 1977; 廖崇惠等, 1990; 钱复生, 1995) 及地表甲虫群落进行了研究 (Eyre *et al.*, 1996; 周红章等, 2000; 于晓东等, 2001a, b), 但尚未见以森林生态系统地表生态位上的无脊椎动物整体为对象研究其多样性特征和生态系统功能的有关文献发表。因而本文通过鼎湖山国家级自然保护区 3 种代表林型下的地表无脊椎动物群落的对比, 对这一生态单元在植被演替及物质循环中的作用进行了初步探讨。

1 研究方法

1.1 样地概况

鼎湖山国家级自然保护区 (北纬 23°09' ~ 23°11', 东经 112°30' ~ 112°33') 以其世界上同纬度地区极为少见的地带性植被——季风常绿阔叶林 (简称阔叶林) 的完整保存而成为新中国第一个国家级自然保护区和联合国教科文组织生物圈保护区网成员之一。本研究以阔叶林及针阔叶混交林 (简称混交林) 和马尾松林 (简称松林) 为样地。三者分属同一演替序列的第三、第二、第一阶段。阔叶林是该地带的顶级植被类型, 乔木分 3 层, 主要优势种有锥栗 (*Castanopsis chinensis*)、荷木 (*Schima superba*)、厚壳桂 (*Cryptocarya*)、肖蒲桃 (*Acmena acuminatissima*)、云南银柴 (*Aporosa yunnanensis*)。林下包括灌木层及苗木草本层, 林中还有较多的藤本植物和附生植物等层外植物。混交林为人工马尾松林在自然状态下经阔叶树入侵, 进而演替形成。其乔木仅一层, 主要种类有马尾松 (*Pinus massoniana*)、锥栗、荷木、藜蒻 (*Castanopsis sp.*) 等。林下层由灌木层和草本苗木层组成。松林属演替初级阶段林型, 乔木层只有马尾松一种, 灌木草本较多, 主要有桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa*) 和芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*) 等, 其覆盖度往往超过 80%, 是受人为干扰较大的地方。

1.2 取样方法

于鼎湖山的干季 (2001 年 12 月) 采用巴氏罐诱法 (Martin, 1978) 同时对各样地取样, 在近 400 m² 的面积内采集在地表活动的无脊椎动物。在 3 种林型内各选择 1 块 40 m × 9 m 的矩形样地, 按 10 m 行距、1 m 列距在地上布置 50 个塑料杯 (高 9 cm, 口径 7.5 cm), 杯口与地面平齐。杯内各装有按 2:1:1:20 (质量比) 配成的混合物 40 ~ 60 mL。

放置 7 d 后收集塑料杯, 带回实验室取出标本并进行鉴定。

1.3 标本的分类鉴定

除蛛形纲、蜈蚣、大蚓等几个类群和幼虫未能详细鉴定外, 其余各类根据尹文英 (1998)、郑乐怡和归鸿 (1999) 的文献鉴定到科 (总科)。

1.4 数据分析

根据以下公式分别计算多样性、均匀性、相似性指数等。Shannon-Wiener 多样性指数 H' :

$$H' = - \sum P_i \ln P_i$$

P_i 为样地内第 i 类群个体的比例。

Pielou 均匀性指数 E :

$$E = H' / \ln S$$

H 为多样性指数, S 为样地内的类群数。

Simpson 优势度指数 C :

$$C = \sum (n_i / N)^2$$

n_i 为样地内第 i 个类群的个体数量, N 为样地内所有类群的数量。

Jaccard 相似性指数 q :

$$q = c / a + b - c$$

c 为两群落的共有类群数, a 和 b 分别为群落 A 和群落 B 的类群数。 q 值为 0 ~ 0.25 时极不相似, 0.25 ~ 0.5 时中等不相似, 0.5 ~ 0.75 时中等相似, 0.75 ~ 1 时极相似。

凋落物的数据来自闫俊华 (2001)。利用 Excel 软件计算 3 块样地多样性、均匀性、相似性指数与年凋物量、凋落物种类、分解率、周转期的相关系数 r 。

2 结果与分析

2.1 类群

在 3 块样地 150 个杯中共采到无脊椎动物 3 门 7 纲 31 目 58 科 (总科) 7 310 头, 物种分布相当广泛。蚂蚁是 3 块样地内的绝对优势类群, 个体数量占总数的 74.8%; 又为各样地的第一大类, 在阔叶林、混交林和松林中所占的比例分别为 45.2%、48.0% 和 93.4% (表 1), 可见蚂蚁是森林地表活动的主要无脊椎动物类群。蜘蛛、甲螨、长角蚋虫、毛蕈甲、蟋蟀和果蝇为常见类群, 共占总数的 15.8%。如把以上两者合并, 共占标本总数的 90.6%, 构成所获地表无脊椎动物群落的主体。其余 59 类的个体数只占总数的 9.4%, 为稀有类群。

表 1 鼎湖山国家级自然保护区 3 种代表林型地表无脊椎动物群落组成比较

Table 1 Composition of aboveground invertebrate communities obtained from three representative forests in Dinghushan National Nature Reserve

In Dinghushan National Nature Reserve									
	BF			MF			PF		
	N	P (%)	A	N	P (%)	A	N	P (%)	A
蜘蛛类 Araneae	83	5.64	+ +	28	1.95	+ +	54	1.23	+ +
甲螨类 Oribatida	248	16.85	+ + +	293	20.45	+ + +	4	0.09	+
盲蛛类 Opiliones	4	0.27	+	65	4.54	+ +	1	0.02	+
裂盾类 Schizomida	6	0.41	+	2	0.14	+			
吸螨科 Bdellidae	3	0.20	+	4	0.28	+	44	1.00	+
蚁科 Formicidae	665	45.18	+ + +	688	48.01	+ + +	4115	93.42	+ + +
茧蜂科 Ichneumonidae	8	0.54	+	11	0.77	+	16	0.36	+
细蜂科 Proctotrupidae	4	0.27	+						
跳小蜂科 Encyrtidae	5	0.34	+						
缨小蜂科 Mymaridae	10	0.68	+						
长角跳虫科 Entomobryidae	177	12.02	+ + +	6	0.42	+			
棘蛸虫科 Onychiuridae	29	1.97	+ +	36	2.51	+ +			
疣蛸虫科 Neanridae	1	0.07	+	1	0.07	+	2	0.05	+
圆蛸虫科 Sminthuridae	11	0.75	+						
小蕈甲科 Mycetophagidae *				1	0.07	+	10	0.23	+
大蕈甲科 Erotylidae *				50	3.49	+ +	16	0.36	+
毛蕈甲科 Biphyllidae *	52	3.53	+ +	59	4.12	+ +			
出尾蕈甲科 Scaphidiidae *				1	0.07	+			
隐翅甲科 Staphylinidae *	7	0.48	+	10	0.70	+	1	0.02	+
盘甲科 Discolomidae *				1	0.07	+	3	0.07	+
水龟甲科 Hydrophilidae *	1	0.07	+				2	0.05	+
伪瓢甲科 Endomychidae *	6	0.41	+	10	0.70	+	5	0.11	+
薪甲科 Lathridiidae *							7	0.16	+
象甲科 Curculionidae *				8	0.56	+	4	0.09	+
长角象甲科 Anthribidae *				1	0.07	+	5	0.11	+
粪金龟科 Geotrupidae *							2	0.05	+
步甲科 Carabidae *							2	0.05	+
叩甲科 Elateridae *	1	0.07	+	3	0.21	+			
蚁甲科 Pselaphidae *				1	0.07	+			
吉丁甲科 Buprestidae *				2	0.14	+			
瓢甲科 Coccinellidae *				3	0.21	+			
闰甲科 Histeridae *				5	0.35	+			
拟花萤科 Melyridae *	1	0.07	+						
长闰甲科 Synteliidae *	1	0.07	+				2	0.05	+
小蠹科 Scolytidae *	2	0.14	+						
露尾甲科 Nitidulidae *	1	0.07	+						
扁甲科 Cucujidae *	1	0.07	+						
硕蠹科 Blaberidae	4	0.27	+				18	0.41	+
姬蠹科 Blattellidae	1	0.07	+	12	0.84	+	13	0.30	+
蚜科 Aphididae				2	0.14	+	6	0.14	+
叶蝉科 Cicadellidae	2	0.14	+				1	0.02	+
沫蝉科 Cercopidae	1	0.07	+	2	0.14	+			
驼螭科 Microphysidae	2	0.14	+	2	0.14	+	3	0.07	+
膜螭科 Hebridae							1	0.02	+
土螭科 Cydnidae				1	0.07	+	2	0.05	+
长螭科 Lygaeidae				1	0.07	+	1	0.02	+
蟋蟀科 Gryllidae	9	0.61	+	25	1.74	+ +	46	1.04	+ +
蚁蟋科 Myrmecophilidae	26	1.77	+ +						
蛛蟋科 Phalangopsidae	7	0.48	+						
蚤螭总科 Tridactyloidea							1	0.02	+

(续表 1)

	BF			MF			PF		
	N	P (%)	A	N	P (%)	A	N	P (%)	A
蚱总科 Tetrigoidea	1	0.07	+						
喜湿虫科 Philosciidae				1	0.07	+	6	0.14	+
蛞蝓科 Limacidae							1	0.02	+
果蝇科 Prosophilidae*	35	2.38	++	35	2.44	++	1	0.02	+
蝇科 Muscidae*	2	0.14	+						
菌蚊科 Mycetophilidae*	7	0.48	+						
蜚科 Termitidae	5	0.34	+	40	2.79	++			
草蜚科 Hodotermitidae				3	0.21	+			
螯螋科 Chelisochidae	15	1.02	++	8	0.56	+			
山蛭科 Spirobolidae	5	0.34	+	1	0.07	+			
沼啮科 Elipsocidae	2	0.14	+						
虱啮科 Liposcelidae	1	0.07	+						
管蓟马科 Phlaeothripidae	1	0.07	+						
蜈蚣类 Scolopendromorpha	12	0.82	+	3	0.21	+	7	0.16	+
大蚓类 Megadrileoligochaetes	2	0.14	+	2	0.14	+			
幼虫 Larvae	5	0.34	+	6	0.42	+	3	0.07	+

BF: 季风常绿阔叶林 (Monsoon evergreen broad-leaf forest); MF: 针阔混交林 (Broad-leaf and pine mixed forest); PF: 松林 (Pine forest); N: 个体数 (Number); P: 占样地总数比例 (Per in the plot); A: 多度 (Abundance)。

*成虫 (Adults); +++ 优势类群, 其个体数占样地总数 10% 以上 [Dominant groups (>10%)]; ++ 常见类群, 其个体数占样地总数的 1% ~ 10% [Common groups (1% ~ 10%)]; + 稀有类群, 其个体数占样地总数 1% 以下 [Rare groups (<1%)].

2.2 数量分布特征

由于植被结构不同, 处于不同演替阶段的阔叶林、混交林和松林形成了不同的林间小环境, 使林内地表的无脊椎动物群落也表现出一定的差异。阔叶林中优势类群排序为蚂蚁 > 甲螨 > 长角蛱虫, 常见类群排序为蜘蛛 > 毛蕈甲 > 果蝇 > 棘蛱虫 > 蚁蟋 > 螯螋; 混交林中优势类群为蚂蚁 > 甲螨, 常见类群为盲蛛 > 毛蕈甲 > 大蕈甲 > 白蚁 > 棘蛱虫 > 果蝇 > 蜘蛛 > 蟋蟀; 松林内只有蚂蚁为优势类群, 常见类群有 2 个, 蜘蛛 > 蟋蟀。而马尾松林优势、常见类群只有 3 类, 占该样地总量的 8.6%, 但个体数却占总数量的 95.7%, 其中蚂蚁又独占鳌头, 为唯一优势类, 个体数占总数的 93.4%; 阔叶林优势、常见类群共 9 类, 1330 头, 分别占该样地总量的 20% 和 90.4%; 混交林优势、常见类群共 10 类, 1319 头, 分别占该样地总量的 25% 和 92.0%。可见, 松林中地表无脊椎动物的优势性非常明显, 而

在阔叶林和混交林中则比较均匀。

2.3 多样性比较

地表无脊椎动物多样性指数计算结果 (表 2) 表明, 阔叶林多样性最高, 混交林与之接近, 马尾松林则与之相差甚远; 均匀性指数表现出完全相同的趋势; 优势度指数则与前两者正好相反, 松林远高于混交林和阔叶林。这与数量特征的比较结果一致。

3 种林型地表无脊椎动物群落的相似性 (表 3) 表明, 彼此之间都为中等不相似, 体现了不同演替阶段各生态系统间的确存在一定的差异。其中混交林和松林的相似性程度最高, 阔叶林和松林的相似性程度最低。

2.4 地表无脊椎动物与凋落物之间的关系

3 种林型地表无脊椎动物与凋落物之间存在着密切关系 (表 4)。年凋落物量与地表无脊椎动物的多样性、均匀性呈显著正相关; 与优势度呈显著负相

表 2 鼎湖山 3 种代表林型地表无脊椎动物的多样性

Table 2 Diversity of aboveground invertebrates in three representative forests in Dinghushan

	BF	MF	PF
多样性指数 H'	2.1200	1.9403	0.4232
均匀性指数 E	0.5306	0.5260	0.1200
优势度指数 C	0.2532	0.2804	0.8731

BF、MF、PF: 同表 1 (The same as Table 1)。

表 3 鼎湖山 3 种代表林型地表无脊椎动物的相似性

Table 3 Similarity of aboveground invertebrates in three representative forests in Dinghushan (q)

	MF	PF
BF	0.4167	0.3107
MF		0.4800

BF、MF、PF: 同表 1 (The same as Table 1)。

表 4 鼎湖山 3 种代表林型地表无脊椎动物多样性与凋落物的相关系数 r

Table 4 Correlation of aboveground invertebrates with litter in three representative forests in Dinghushan

	凋落物 Litter			
	年凋物量 Annual production	种类数 Number of species	分解率 Decomposition ratio (%)	周转期 Periodic return
多样性指数 H'	0.9826*	0.6412	0.9146	-0.9899*
均匀性指数 E	0.9749*	0.6118	0.8987	-0.9838*
优势度指数 C	-0.9809*	-0.6344	-0.9111	0.9886*

* $df = 2$, $r_{0.05} = 0.95$ 。

关。显示年凋落物量越多, 动物群落越丰富, 分布越均匀。虽然地表无脊椎动物的各项指数与凋落物的分解率不呈显著相关, 但却与表征凋落物分解速率的另一指标——周转期呈显著负相关, 即动物群落多样性越高, 凋落物的周转期越短, 分解越快, 反之亦然。凋落物的种类与地表无脊椎动物群落的相关性较差。

4 讨 论

动物与环境的统一是动物生存的一般法则。生态系统的组成、结构直接影响物种丰富度和多样性。马尾松林生境比较简单, 在这样的环境中只会有利于少数几个动物类群的发展, 同时由于缺少竞争, 极易产生优势种群, 而整个群落的多样性和均匀性则较低。混交林和阔叶林生境比较复杂, 适于多类生态位不同的无脊椎动物发展, 因而无脊椎动物群落的多样性指数也较高。阔叶林的植被主要是由乔木层构成, 林内郁闭度高, 水热条件好, 形成适宜的小气候, 因此地表无脊椎动物丰富, 多样性和均匀性都最高。混交林虽然乔木层比阔叶林简单, 但由于灌木、草本层比较茂盛, 其生境的多样性程度也比较高, 地表无脊椎动物的多样性和均匀性指数也较高。虽然混交林与阔叶林的多样性、均匀性和优势度指数非常接近, 但混交林的植被类型与阔叶林仍然存在一定差异, 所以两群落处于中等不相似性的水平。说明生境异质性是维持生物多样性的基础。混交林与松林的相似性较高, 但同时其优势、常见类群无论在种类、个体数量和构成

上又与阔叶林非常接近(尽管二者的整体相似性不高), 体现了演替序列中鲜明的阶段性特色和演替进程的连贯性。

地表无脊椎动物的研究方法有样方法和引诱法等。样方法虽然具有精确的数量特征, 但在森林生态系统中由于受取样面积、小生境差异以及一些活动能力特强类群(如蜚蠊、蟋蟀等)难以被捕捉等因素的限制和影响, 使得获取的样品具有一定的局限性。而引诱法通过大面积布设大量样点可以获取众多的样品, 更具有代表性, 但无法用于特定生态系统的群落结构分析。本研究针对地表无脊椎动物生物量大, 活动性强的特点, 采用具陷阱兼引诱效应的巴氏罐诱法, 所获数据用于鼎湖山 3 种代表林型间进行多样性的比较研究, 确具较好的应用价值。由于该方法同样具有局限性, 因此所得资料不能用作特定生境的群落结构分析。廖崇惠等(1990, 1995)、张雪萍等(1995)曾对凋落物量与土壤动物生物量之间的关系进行了研究, 认为两者之间显著相关; 钱复生(1995)提出凋落物的种类与大型土壤动物的种类成正比关系, 但未进行相关性分析。本研究表明凋落物的量与地表无脊椎动物群落的质(多样性)显著相关, 但凋落物种类与地表无脊椎动物群落的多样性无显著相关。这是否说明地表无脊椎动物食物专一性不强, 或者在凋落物分解过程中其他动物群落也有这种特性? 凋落物量与地表无脊椎动物的生物量之间是否也显著相关? 这些问题值得进一步研究。

参考文献:

- Bouche M B, Strategies L. 1977. Soil organism as components of ecosystems [J]. *Ecol. Bull.*, 25: 122-132.
- Eyre M D, Lott D A, Garside A. 1996. Assessing the potential for environmental monitoring using ground beetles (Coleoptera: Carabidae) with riverside and Scottish data [J]. *Annales Zoologici Fennici*, 33: 157-163.
- Liao C H, Ling S M, Li Y Q. 1990. The soil zoology of subtropical forest in Dinghushan, China [J]. *Trop. Subtrop. For. Ecosys.*, (6): 47-53. [廖崇惠, 林少明, 李耀泉. 1990. 鼎湖山森林土壤动物研究. 热带亚热带森林生态系统研究, (6): 47-53.]
- Liao C H, Ling S M, Li Y Q, et al. 1995. The relation between

- biomass of soil animals and decomposition of forest litter, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, **15** (suppl.): 156-164. [廖崇惠, 林少明, 李耀泉, 等. 1995. 土壤动物生物量与森林凋落物分解的关系. 生态学报, **15** (增刊): 156-164.]
- Qing F S. 1995. Relationships between forest litter and soil macrofauna in Wuhu municipality, China [J]. *Chinese Journal of Ecology*, **14** (4): 19-24. [钱复生. 1995. 芜湖市森林凋落物与大型土壤动物的关系. 生态学报, **14** (4): 19-24.]
- Wu C Z, Hong W, Jiang Z L, et al. 2000. Advances in research of forest litter-fall in China [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, **22** (3): 406-410. [吴承祯, 洪伟, 姜志林, 等. 2000. 我国森林凋落物研究进展. 江西农业大学学报, **22** (3): 406-410.]
- Yan J H, Zhou G Y, Tang X L, et al. 2001. Characteristics of litter and its contained water in three succession communities in Dinghushan Mountain, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **12** (4): 509-512. [闫俊华, 周国逸, 唐旭利, 等. 2001. 鼎湖山 3 种演替群落凋落物及其水分特征对比研究. 应用生态学报, **12** (4): 509-512.]
- Yi W Y. 1998. Pictorial Keys to Soil Animals of China [M]. Beijing: Science Press. [尹文英. 1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社.]
- Yu X D, Zhou H Z, Luo T H. 2001a. Species diversity of insects on Ordos Plateau, Northwest China [J]. *Chinese Biodiversity*, **9** (4): 329-335. [于晓东, 周红章, 罗天宏. 2001a. 鄂尔多斯高原地区昆虫物种多样性研究. 生物多样性, **9** (4): 329-335.]
- Yu X D, Zhou H Z, Luo T H. 2001b. Species diversity of litter-layer beetles in Northwest Yunnan Province, Southwest China [J]. *Zool. Res.*, **22** (6): 454-460. [于晓东, 周红章, 罗天宏. 2001b. 云南西北部地区地表甲虫的物种多样性. 动物学研究, **22** (6): 454-460.]
- Zhang D Q, Ye W H, Yu Q F, et al. 2000. The litter-fall of representative forests of succession series in Dinghushan, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, **20** (6): 938-944. [张德强, 叶万辉, 余清发, 等. 2000. 鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究. 生态学报, **20** (6): 938-944.]
- Zhang X P. 1995. On the relation of soil animal to environmental quality [J]. *Natural Sciences Journal of Harbin Normal University*, **11** (4): 95-99. [张雪萍. 1995. 土壤动物与环境质量关系探讨. 哈尔滨师范大学自然科学学报, **11** (4): 95-99.]
- Zhang X P, Zhang Y, Hou W L, et al. 2000. Decomposition of coniferous litter and the function of soil animals in the Xiaoxingan Mountains, China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, **20** (6): 552-556. [张雪萍, 张毅, 侯威岭, 等. 2000. 小兴安岭针叶凋落物的分解与土壤动物的作用. 地理科学, **20** (6): 552-556.]
- Zhang X P, Hou W L, Chen P. 2001. Soil animal guilds and their ecological distribution in the northeast of China [J]. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*, **7** (4): 370-374. [张雪萍, 侯威岭, 陈鹏. 2001. 东北森林土壤动物同功能种团及其生态分布. 应用与环境生物学报, **7** (4): 370-374.]
- Zhen L Y, Gui H. 1999. Insect Classification [M]. Nanjing: Nanjing Normal University Press. [郑乐怡, 归鸿. 1999. 昆虫分类. 南京: 南京师范大学出版社.]
- Zhong W Y, Yin X Q, Chen P. 1999. Relationship of litter decomposition and consumption with soil animals in Maoer Mountain forest, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **10** (4): 511-512. [仲伟彦, 殷秀琴, 陈鹏. 1999. 帽儿山森林落叶分解消耗与土壤动物关系的研究. 应用生态学报, **10** (4): 511-512.]
- Zhou H Z, Yu X D, Luo T H, et al. 2000. Insect abundance and environmental effects in Shennongjia Natural Reserve, Hubei Province [J]. *Chinese Biodiversity*, **8** (3): 262-270. [周红章, 于晓东, 罗天宏, 等. 2000. 湖北神农架自然保护区昆虫的数量变化与环境关系的初步研究. 生物多样性, **8** (3): 262-270.]